

М. В. Майсурадзе^{1*}, М. А. Рыжков¹, А. А. Куклина¹, А. А. Кареева²

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

²НИТУ МИСиС, г. Москва

**spirallog@gmail.com*

МИКРОСТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНОЙ СТАЛИ ВЛ1 ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Дилатометрическим методом определены критические температуры A_{c1} и A_{c3} стали ВЛ1. Исследованы особенности формирования микроструктуры при непрерывном охлаждении от температуры аустенитизации. Построена термокинетическая диаграмма превращения переохлажденного аустенита в интервале скоростей охлаждения 0,1...30 °C/с. Установлена зависимость механических свойств исследуемой стали от температуры отпуска.

Ключевые слова: сталь, термическая обработка, термокинетическая диаграмма, механические свойства, микроструктура.

M. V. Maisuradze, M. A. Ryzhkov, A. A. Kuklina, A. A. Kareeva

MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE HIGH STRENGTH VL1 STEEL AFTER HEAT TREATMENT

The temperatures A_{c1} and A_{c3} of VL1 steel were determined by means of the dilatometric method. The microstructure formed during continuous cooling from the austenitization temperature is studied. A CCT-diagram is plotted for cooling rates 0.1...30 °C/s. The dependence of the mechanical properties of the studied steel on the tempering temperature is obtained.

Keywords: steel, heat treatment, CCT-diagram, mechanical properties, microstructure.

Сталь ВЛ1 используется в основном в авиастроении и специальном машиностроении для изготовления крупногабаритных ответственных деталей [1]. Химический состав стали ВЛ1 приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав стали ВЛ1, масс. %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	W	Cu	S	P
0,26	0,94	1,14	1,76	2,15	0,37	1,11	0,20	0,001	0,007

Критические температуры стали ВЛ1, определенные дилатометрическим методом, составляют: $A_{c1} = 715 \pm 5$ °С; $A_{c3} = 900 \pm 5$ °С. В ходе изучения превращения переохлажденного аустенита при непрерывном охлаждении была принята температура аустенитизации 975 °С для более полного растворения карбидных частиц.

Зависимость доли превращения переохлажденного аустенита от температуры для постоянных скоростей охлаждения в диапазоне 0,1...30 °С/с приведена на рис. 1. Установлено, что бейнит в исследуемой стали формируется при скоростях охлаждения 0,1...3 °С/с. При скоростях охлаждения выше 3 °С/с в стали ВЛ1 реализуется только мартенситное превращение. Температура начала мартенситного превращения составляет 330 ± 5 °С.

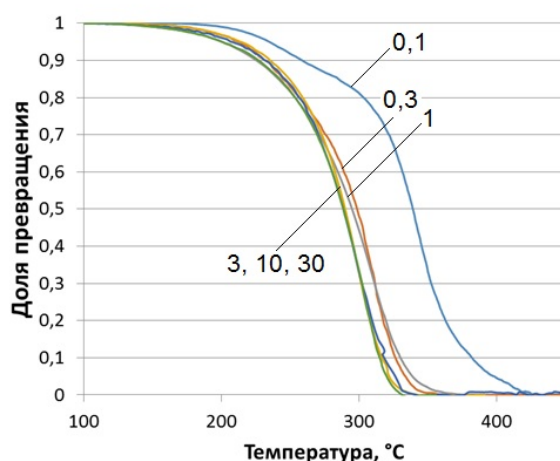


Рис. 1. Зависимость доли превращения аустенита от температуры при непрерывном охлаждении стали ВЛ1 (цифры у кривых – скорость охлаждения в °С/с)

В результате анализа дилатометрических данных и изучения микроструктуры стали ВЛ1, сформированной при непрерывном охлаждении, по методике [2] была построена термокинетическая диаграмма (рис. 2). Как видно из диаграммы, в стали ВЛ1 не наблюдается диффузионного превращения аустенита даже при замедленном охлаждении со скоростями 0,1...0,3 °С/с. Таким образом, сталь ВЛ1 обладает высокой устойчивостью переохлажденного аустенита к превращению по первой ступени и бейнито-мартенситной микроструктурой при охлаждении на спокойном воздухе. Это гарантирует получение высокого уровня механических свойств крупногабаритных деталей после закалки и отпуска.

Для определения прочностных и пластических характеристик образцы стали ВЛ1 подвергали закалке от температуры 975 °С в масле и отпуску в температурном интервале 200...600 °С в течение 3...4 ч. Механические свойства (предел текучести, временное сопротивление

разрыву, относительное удлинение, относительное сужение) определяли по методике ГОСТ 1497–84 (тип III, диаметр рабочей части образца 6 мм).

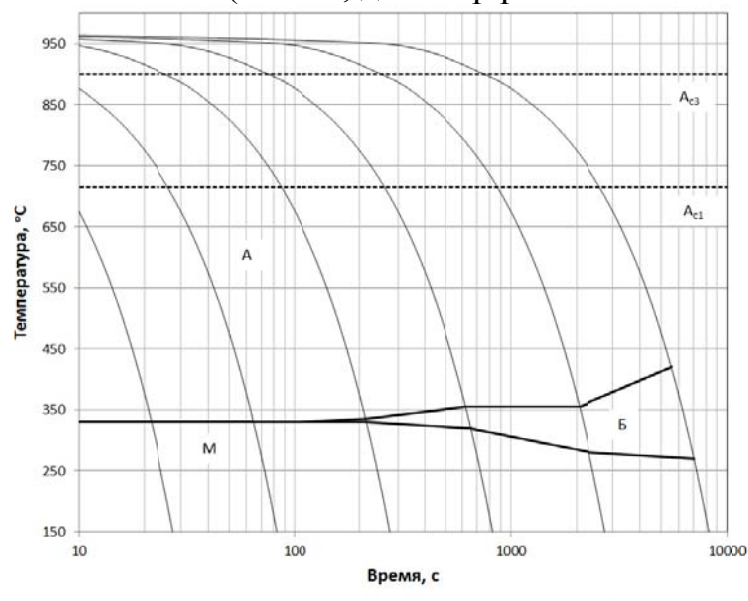
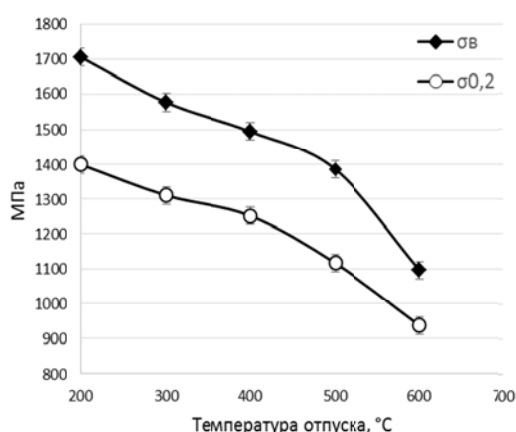
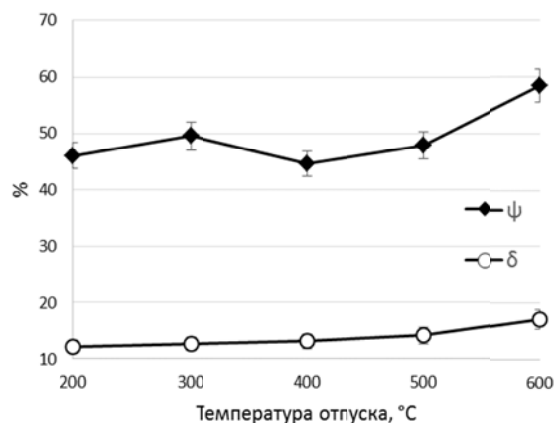


Рис. 2. Термокинетическая диаграмма превращения переохлажденного аустенита стали ВЛ1 в интервале скоростей охлаждения 0,1...30 °C/c (температура аустенитизации 975 °C)

На рис. 3 приведена зависимость механических свойств стали ВЛ1 от температуры отпуска. Как видно, временное сопротивление разрыву стали ВЛ1 снижается от 1700 до 1100 МПа с повышением температуры отпуска от 200 до 600 °C. Относительное удлинение стали при этом возрастает от 11 до 18 %. Отпуск при температуре 400 °C приводит к некоторому уменьшению относительного сужения, что связано с выделением карбидных частиц (рис. 4, б–г).



а



б

Рис. 3. Зависимость прочностных (а) и пластических (б) свойств стали ВЛ1 от температуры отпуска

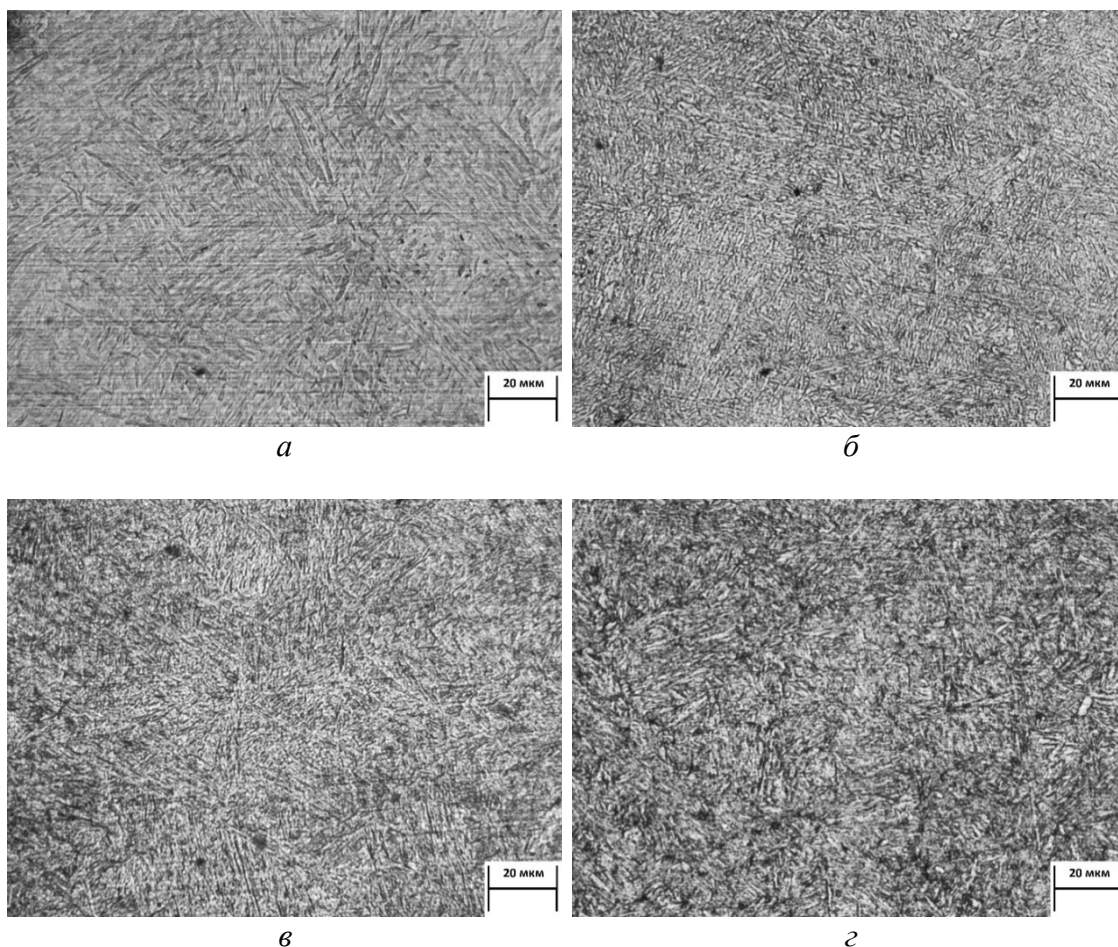


Рис. 4. Микроструктура стали ВЛ1 после закалки в масло от температуры 975 °С (а) и отпуска при температуре 300 °С (б), 400 °С (в), 500 °С (г)

Таким образом, исследуемая сталь ВЛ1 сохраняет высокую прочность вплоть до температур высокого отпуска. Кроме того, выделяющиеся при отпуске мартенсита дисперсные карбидные частицы могут способствовать повышению износостойкости деталей.

Работа выполнена в рамках Гранта Президента РФ для молодых ученых – кандидатов наук МК-7929.2016.8.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жаропрочные сплавы и стали / под ред. Е. Н. Каблова. Москва : ВИАМ, 2010. 60 с.
2. Майсурадзе М. В. Численное моделирование перлитного превращения в стали 45Х5МФ / М. В. Майсурадзе, Ю. В. Юдин, М. А. Рыжков // МиТОМ. 2014. № 9. С. 55–59.